

運動，身体活動が心電図 QT 間隔延長に及ぼす影響

道下 竜馬¹⁾，飛奈 卓郎²⁾，松平 奈緒子³⁾，樋口 ゆう子⁴⁾，桧垣 靖樹^{1,5)}，
田中 宏暁^{1,5)}，清永 明^{1,5)}

The Possible Influence of Exercise and Physical Activity for a Prolonged QT Interval

Ryoma MICHISHITA¹⁾, Takuro TOBINA²⁾, Naoko MATSUHIRA³⁾,
Yuko HIGUCHI⁴⁾, Yasuki, HIGAKI^{1,2)}, Hiroaki TANAKA^{1,2)}, Akira KIYONAGA^{1,2)}

Abstract

There is accumulating evidence that physical inactivity is associated with a significantly incidence of arrhythmia, and that keeps and increases in physical activity can reduce the incidence of cardiac sudden death involved lethal arrhythmia. On the other hand, a prolonged QT interval is associated with an increased risk of cardiac sudden death, coronary artery disease (CAD), left ventricular hypertrophy (LVH) and cardiac autonomic dysfunction. Recently, we suggested that a prolonged heart rate corrected-QT (QTc) interval correlated with a lower aerobic capacity, physical activity levels and physical performance (muscle strength, balance and walking abilities) in postmenopausal overweight females and elderly subjects. These results suggest that lower levels of aerobic capacity, physical activity and physical performance may be independent risk factors for autonomic nervous system dysfunction, incidence of arrhythmia, LVH, sudden cardiac death and CAD. Interestingly, our previous study demonstrated that the improvement in QTc interval by exercise training was dependent on the baseline value. At present, the mechanism linking the reduction in QT interval by exercise training thought as the improvement in cardiac autonomic nervous system, left ventricular function, the sympathetic nervous system and/or electrolyte imbalance. Therefore, early stage of lifestyle modification, especially keeps and increases in aerobic capacity, physical activity and physical performance, are considered to be necessary to prevent a prolonged QT interval. In this review, the possible influence of exercise and physical activity for a QT interval is mentioned.

-
- 1) 福岡大学スポーツ科学部 運動生理学研究室
Laboratory of Exercise Physiology, Faculty of Health and Sports Science, Fukuoka University
 - 2) 長崎県立大学 看護栄養学部
Laboratory of Exercise Physiology, Faculty of Nursing and Nutrition, University of Nagasaki
 - 3) 株式会社 スズケン
SUZUKEN Co, Ltd.
 - 4) 株式会社 健康科学研究所
Laboratory of Physical Science Co, Ltd.
 - 5) 福岡大学基盤研究機関 身体活動研究所
Institute for Physical Activity, Fukuoka University

はじめに

一定水準以上の身体活動量の保持は、健康の維持・増進、疾患の予防や改善に重要である。身体活動量は心血管病や代謝性疾患などの発症、それらによる死亡率と密接に関連しており、日常生活での身体活動の維持・向上が疾病の発症や死亡を抑制させることが近年の多くの疫学調査で報告されている³⁴⁾。また、不活動に伴う有酸素性作業能力の低下は、心血管病やその死亡率の独立した危険因子であることも明らかにされている¹⁷⁾。

近年、健康増進を目的とした運動の重要性が注目されているが、それとともに運動中の突然死事故も問題となっている²⁷⁾。運動中の突然死発生機序として、高齢者では潜在性の心筋虚血が基礎にあり、運動中のカテコラミン増加に伴う心拍数の増加、血圧上昇などのストレスが心筋虚血を惹起させ、重篤な不整脈の誘発へと繋がると考えられている。反対に若年者では虚血の要因は少なく、先天性の異常や炎症性疾患などが基礎疾患として考えられている。しかし、どのような基礎疾患であっても突然死に結びつく直接の原因の多くは致死性の不整脈であり、心室頻拍から心室細動になると考えられている。運動から見込まれる効果よりも疾病の増悪や突然死に至る危険性の方が高い場合、運動を中止または制限されることがあるが、長期の運動そのものが不整脈の源性となるか否かについては不明な点が多い。

一方、心電図のQT間隔の延長は心臓突然死や冠動脈疾患、左室肥大の予測因子、2型糖尿病患者の心臓自律神経障害のマーカーとして着目されている^{1, 5, 6, 8, 38)}。QT間隔は心室筋の再分極、すなわち心筋細胞内の活動電位の持続時間を反映している。また、心臓の機能としての変力作用、つまり心室興奮の始まり（脱分極）から終了（再分極）までの時間を表している。一般的に、QT間隔はRR間隔に応じて変化することから、Bazettの補正式（QTc）³⁾が臨床の間ではよく用いられている。QTc間隔は男性よりも女性の方が長く、遺伝的要因のほか、年齢や性ホルモン、薬剤による

影響を受けやすいことも知られている^{18, 19, 32)}。

我々は、これまでに体力（有酸素性作業能力や筋力、バランス能力、歩行能力）や身体活動量の低下がQTc間隔と関連し、軽強度の運動トレーニングがQTc間隔に影響を及ぼすことを報告してきた^{2, 20, 21, 23, 24)}。安静時心電図は運動処方を行う際のメディカルチェックの必須項目であり、なかでもQT間隔の延長は心臓突然死や冠動脈疾患、左室肥大、心臓自律神経障害の予測因子である。体力や身体活動量とQTc間隔との関係、運動トレーニングによるQTc間隔の変化を把握することは、運動適応や運動トレーニングの効果を判定し、安全で効果的な運動処方を行ううえで、有益な情報になりうると考えられる。今回、運動・身体活動が安静時心電図QT間隔に及ぼす影響について、近年の研究結果や我々がこれまでに蓄積した知見も併せて概説する。

QT延長症候群の分類と発生機序

QT延長症候群は心電図にQT間隔の延長を認め、torsade de pointes（TdP）とよばれる特殊な心室頻拍や心室細動などの重症心室性不整脈を生じて、めまい、失神などの脳虚血症状や突然死をきたしうる症候群である¹⁴⁾。QT延長症候群は大きく先天性と二次性に分けられ、このうち先天性では明らかな遺伝性を認める例のほか、遺伝関係が明瞭でないかあるいは遺伝関係の調査が困難な例（特発性QT延長症候群）も含まれる（表1）。一方、薬物や電解質異常、その他の原因などで生じたものが二次性QT延長症候群であり、心不全や心筋症、冠動脈疾患、高血圧、左室肥大などの基礎心疾患の合併によりQT延長が助長される。抗不整脈薬によるTdPの発生頻度は、2.0-8.8%と報告されているが、抗不整脈薬以外の非循環器系薬剤である向精神薬、抗生物質、抗真菌薬、抗アレルギー薬、消化器疾患薬などもQT延長を引き起こすことが報告されている^{28, 37)}。その他の誘因として、加齢、性別（女性）、脱水、肥満、糖尿病、アルコール中毒、下垂体・副腎不全、甲状腺

運動、身体活動が心電図 QT 間隔延長に及ぼす影響（道下・他）

表1. QT延長症候群の分類（文献¹⁴⁾ より引用）

先天性QT延長症候群	
遺伝性QT延長症候群	Romano-Ward症候群（常染色体優性遺伝） Jervell and Lange-Nielsen症候群（常染色体劣性遺伝）：先天性聾を伴う
持続性QT延長症候群	
二次性QT延長症候群	
薬物誘発性	抗不整脈薬：Ⅰ群薬（キニジン，プロカインアミド，ジソピラミドなど） Ⅲ群薬（アミオダロン，ソタロール，ニフェカランなど） 向精神薬：フェノチアジン系（クロルプロマジンなど），三環系抗うつ薬など 抗生物質，抗ウイルス薬：エリスロマイシン，アマンタジンなど 抗潰瘍薬：H2受容体拮抗薬（シメチジンなど） 消化管運動促進薬：シサプリドなど 抗アレルギー薬：テルフェナジンなど 脂質異常症治療薬：プロブコールなど 有機リン中毒
電解質異常	低K血症，低Mg血症，低Ca血症
徐脈性不整脈	房室ブロック，洞不全症候群
各種心疾患	心筋梗塞，急性心筋炎，重症心不全，心筋症
中枢神経疾患	クモ膜下出血，頭部外傷，脳血栓症，脳外科手術
代謝異常	甲状腺機能低下症，糖尿病，神経性食欲不振症

機能低下症，低体温，低血糖などの代謝障害に伴うQT延長も知られている^{7, 18, 19, 32)}。また，2型糖尿病患者のうち，自律神経障害を合併している患者では，健常者に比べてQT間隔が延長しており，TdPの発生頻度が高いことも明らかにされている¹⁾。el-Gamalら⁷⁾は139名の肥満者と603名の正常体重者におけるQTc間隔の差異について検討し，肥満者は正常体重者に比べてQTc間隔が有意に延長しており，肥満に伴い左室重量や心拍出量，交感神経活性が亢進するため，QTc間隔が延長しているのではないかと考察している。また，極度の食事制限や下痢による電解質異常例（特に低カリウム血症）にも注意が必要であり，神経性摂食障害患者による突然死の直前にはQT間隔の延長が観察されおり¹³⁾，反対に神経性摂食障害患者にカリウムを経口摂取させることによって

QT間隔が短縮することも明らかにされている⁹⁾。我々は²⁵⁾ これまでに，119名の高齢者（男性46名，女性73名，平均年齢72.9±4.8歳，平均BMI 23.1±3.1kg/m²，平均QTc間隔419.0±21.4msec）を対象に体格指数（BMI）を対象者数が等しくなるように3分割し，BMIの3分位によるQTc間隔の差異を比較するとともに，BMIの各群における栄養摂取状況とQTc間隔との関連について検討した。その結果，男女ともに，BMIが高い群と低い群はBMIが中等度の群に比べて，QTc間隔が有意に長かった。さらに，BMIが低い群は男女ともにカリウム摂取量とQTc間隔との間に負の相関関係，BMIが高い群は男女ともにナトリウム摂取量とQTc間隔との間に正の相関関係を認め，低体重の高齢者ではカリウム摂取量，過体重の高齢者ではナトリウム摂取量がQTc間隔の延長と関連する

ことが示された。

QT間隔延長の発生機序は、現在のところ先天性と二次性の間の境界が明瞭ではなく、不明な点が多い。QT間隔延長には電解質異常が関与しており、種々の要因によって心筋の再分極に影響を及ぼす遅延整流K⁺電流（I_{Kr}）が直接抑制され、活動電位の再分極が遅れてQT間隔が延長した結果、早期後脱分極が発生してTdPが起これと考えられている^{26, 33)}。これまで、I_{Kr}は薬剤のみならず、低カリウム血症や徐脈、性別（女性）、交感神経系の活性がトリガーとなって抑制されることが報告されている^{14, 16)}。

体力、身体活動量の低下とQT間隔延長との関係

これまで、肥満や糖尿病、虚血性心疾患とQTc間隔との関係については数多く報告されてきたが、QTc間隔の延長と生活習慣、とりわけ体力や

身体活動量との関係については明らかにされていなかった。我々は、不活動に伴う有酸素性作業能力の低下は心血管病やその死亡率の独立した危険因子であり¹⁷⁾、心血管機能を低下させることから、体力や身体活動量の低下もまた心臓自律神経機能の低下や心臓突然死の発症に影響を及ぼす要因となりうるのではないかと考えるにいたった。我々は、閉経後の肥満女性84名（平均年齢 58.7 ± 6.4 歳、平均BMI $27.9 \pm 3.3 \text{ kg/m}^2$ 、平均QTc間隔 $422.9 \pm 21.2 \text{ msec}$ ）を対象に有酸素性作業能力の指標である推定最大酸素摂取量（ $\dot{V}\text{O}_2\text{max}$ ）とQTc間隔との関係について検討したところ、推定 $\dot{V}\text{O}_2\text{max}$ の3分割のうち、最も推定 $\dot{V}\text{O}_2\text{max}$ が低い群は最も高い群に比べてQTc間隔が有意に延長しており、多変量解析の結果でも推定 $\dot{V}\text{O}_2\text{max}$ とヘモグロビンA1cがQTc間隔延長の独立した危険因子であることを明らかにした²⁰⁾。また、同様に閉経後の肥満女性90名（平均年齢 58.4 ± 6.6 歳、平均BMI $27.8 \pm 3.3 \text{ kg/m}^2$ 、平均QTc間隔 418.5

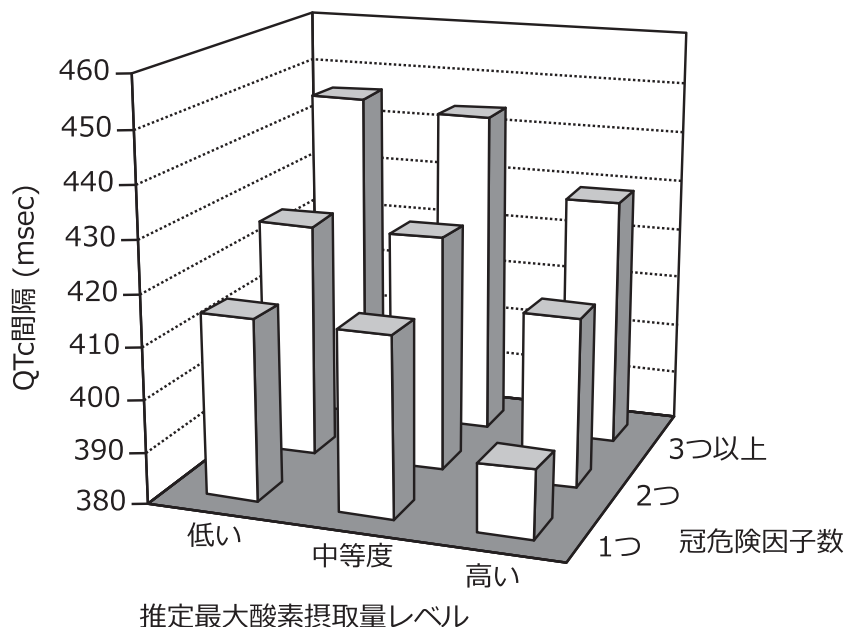


図1. 年齢、BMI調整後の冠危険因子数と推定最大酸素摂取量の3分割の組合わせによるQTc間隔の差異（文献²¹⁾より引用）。結果は平均値で示す。閉経後の肥満女性90名（平均年齢 58.4 ± 6.6 歳、平均BMI $27.8 \pm 3.3 \text{ kg/m}^2$ 、平均QTc間隔 $418.5 \pm 25.0 \text{ msec}$ ）を対象に検討。

運動、身体活動が心電図 QT 間隔延長に及ぼす影響（道下・他）

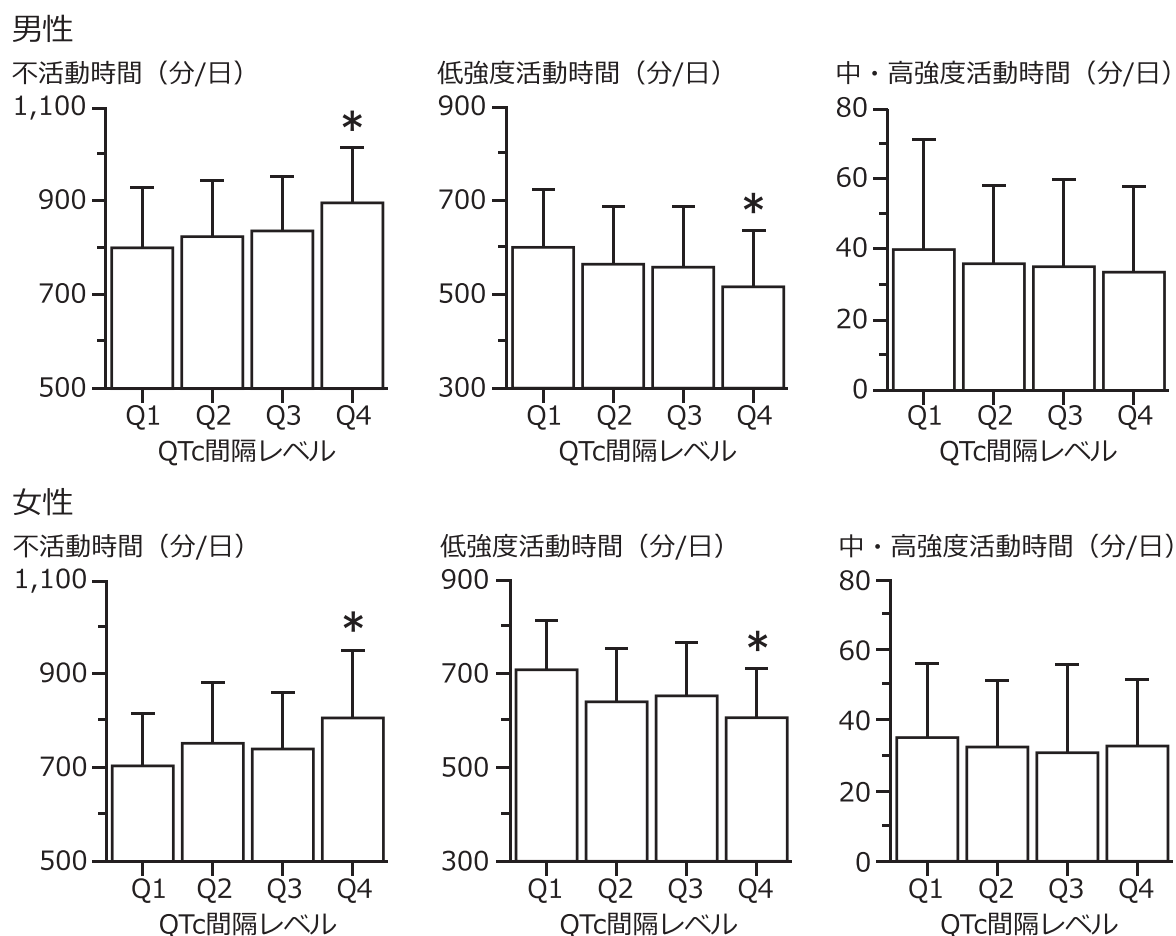


図2. 年齢、BMI、腹囲、歩数調整後のQTc間隔の4分位による身体活動量の差異（文献²⁴⁾より引用）。結果は平均値±標準偏差で示す。*； $p < 0.05$ ，Q1群との比較。
左図より不活動時間，低強度活動時間，中・高強度活動時間，上段は男性，下段は女性を示す。
自立した高齢者586名（男性267名，女性319名，平均年齢 71.2 ± 4.7 歳，平均BMI $23.1 \pm 2.9 \text{ kg/m}^2$ ，平均QTc間隔 $416.3 \pm 21.0 \text{ msec}$ ）を対象に検討。

±25.0msec）を対象にQTc間隔と冠危険因子および運動耐容能との関係について検討した。冠危険因子の保有数を1つ，2つ，3つ以上の3群，推定 $\dot{V}O_2\text{max}$ を対象者数が等しくなるように3分割し，QTc間隔の差異について検討したところ，推定 $\dot{V}O_2\text{max}$ が最も高く冠危険因子数が少ない群はQTc間隔が最も短く，推定 $\dot{V}O_2\text{max}$ が低く冠危険因子数が多い群はQTc間隔が最も延長していた。この研究の結果より，有酸素性作業能力の低下と冠危険因子の集積は相乗的にQTc間隔の延長に影響を及ぼす要因であることを確認した（図1）²¹⁾。さらに，自立した高齢者586名（男性267名，女性319名，平均年齢 71.2 ± 4.7 歳，平均BMI $23.1 \pm 2.9 \text{ kg/m}^2$ ，平均QTc間隔 $416.3 \pm 21.0 \text{ msec}$ ）

を対象に3軸加速度計を用いて評価した身体活動量とQTc間隔との関係について検討した結果，男女ともに，QTc間隔が最も長い群は最も短い群に比べて，不活動時間が有意に長く，歩数，低強度，中・高強度活動時間が有意に短かった。また，年齢と歩数にて補正したところ，男女ともにQTc間隔が最も長い群は最も短い群に比べて，不活動時間が有意に長く，低強度活動時間が有意に短かった（図2）²⁴⁾。Gallettaら¹²⁾は，持久的運動を日頃行なっている高齢者アスリートに比べて非活動的な健常者や左室肥大を有する高血圧患者ではQT間隔のばらつき（QTd）が有意に大きかったと報告している。以上の結果より，不活動による有酸素性作業能力の低下はQTc間隔延長の独立

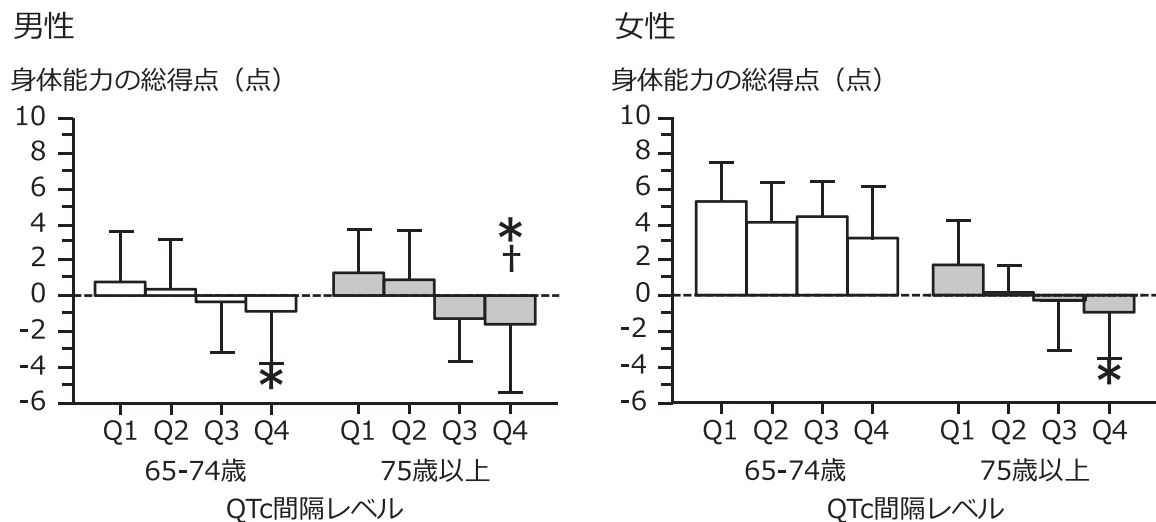


図3. 性、年齢別（前期・後期高齢者），QTc間隔の4分位による身体能力の総得点の差異（文献²³⁾より引用）。結果は平均値±標準偏差で示す。+； $p < 0.05$ ，*； $p < 0.01$ ，Q1群との比較。
左図は男性，右図は女性を示す。
椅子立ち上がりテスト，握力，膝関節伸展力，Functional reach test，垂直跳び，開眼片脚立ち，Timed-up & go test，10m最大歩行の各項目別にZスコアを算出し，各測定項目のZスコアの合計を身体能力の総得点とした。
自立した高齢者605名（男性274名，女性331名，平均年齢 71.2 ± 4.7 歳，平均BMI $23.1 \pm 3.0 \text{ kg/m}^2$ ，平均QTc間隔 $420.1 \pm 20.9 \text{ msec}$ ）を対象に検討。

した危険因子であり，習慣的な運動がQTc間隔に影響を及ぼす要因である可能性を示している。

一方，有酸素性作業能力とQTc間隔との関連について検討されてきたが，有酸素性作業能力を除く身体能力（筋力やバランス能力，歩行能力など）とQTc間隔との関係については明らかにされていなかった。我々は，筋力やバランス能力，歩行能力などの身体能力の低下は高齢者の日常生活動作（ADL）機能を低下させ，死亡リスクを増大させることから，高齢者の身体能力やADL機能の低下もまた心臓自律神経機能の低下や心臓突然死の発症に影響を及ぼす要因となりうるのではないかと考え，605名の高齢者（男性274名，女性331名，平均年齢 71.2 ± 4.7 歳，平均BMI $23.1 \pm 3.0 \text{ kg/m}^2$ ，平均QTc間隔 $420.1 \pm 20.9 \text{ msec}$ ）を対象に身体能力とQTc間隔との関係について横断的に検討した。その結果，男女別に前期，後期高齢者に分け，年齢補正後のQTc間隔の4分位による身体能力の差異について検討したところ，QTc間隔が最も長い群は最も短い群に比べて，筋力，バラ

ンス能力，歩行能力，身体能力の総得点が有意に劣っており，この傾向は前期高齢者よりも後期高齢者で顕著に認められた（図3）²³⁾。近年，身体能力の低下，とりわけ筋力や筋持久力の低下が2型糖尿病や心血管病の発症，死亡率と関連することが，いくつかの研究から明らかにされている^{11, 35)}。我々の結果では，QTc間隔が延長している高齢者ほど身体能力が低下していたことから，有酸素性作業能力や身体活動量のみならず，筋力やバランス能力，歩行能力などの身体能力の低下も高齢者の心機能に影響を及ぼす要因である可能性が考えられる。

運動トレーニングによるQT間隔の短縮効果

従来，肥満者は非肥満者に比べて，QTc間隔が延長していることがよく知られている⁷⁾。Carellaら⁴⁾は522名の肥満者に対して26週間の運動と食事制限による減量を行った結果，QTc間隔の有意

な短縮がみられ, QTc間隔の変化量は体脂肪の変化量と有意な正の相関関係が認められている。これまで, 減量によるQT間隔の変化についての報告はいくつかみられ, いずれも体重 (または体脂肪) 減少に伴いQTc間隔が短縮することで見解の一致を得ている^{4, 29, 31)}。しかし, 運動トレーニングのみによるQTc間隔の改善効果を検討した報告は少なく, その報告のほとんどが心疾患患者を対象にしたものである^{10, 15, 30)}。Kanayaら¹⁵⁾は心筋梗塞後に運動トレーニングを行った患者と経皮的血管形成術 (PCI) を受けた患者, コントロール群のQTc間隔の変化について検討し, 運動トレーニング群とPCI群ではQTc間隔が有意に短縮し, 介入前にQTc間隔が長かった者ほどQTc間隔の変化量が大きいことを示した。我々は²⁾203名の高齢者 (男性54名, 女性149名, 平均年齢 73.0 ± 4.5 歳, 平均BMI $23.7 \pm 3.2 \text{ kg/m}^2$, 平均QTc間隔 $424.5 \pm 22.5 \text{ msec}$) を対象に12週間のベンチステップ運動による乳酸閾値 (LT) 強度の運動トレーニングを施行し, 運動介入によるQTc間隔の変化について検討した。その結果, 介入前の

QTc間隔は有酸素性作業能力の指標であるLT強度時のMETsと有意な負の相関関係を認めた。12週間の介入後, QTc間隔の有意な短縮は認められなかったが, Kanayaら¹⁵⁾の報告と同様, 介入前のQTc間隔が長い者ほどQTc間隔の変化量が大きいことが確認された (図4)。Schuitら³⁶⁾は健常な高齢者229名に70% $\dot{V}O_{2\text{max}}$ 強度の運動トレーニングを6ヶ月間施行し, 男性ではQTc間隔の有意な改善が認められなかったものの, 女性ではコントロール群との間に有意な交互作用を認めている。運動トレーニングによるQTc間隔の改善効果の報告は少なく, その改善機序については未だ不明な点が多いが, 現時点では運動や体重減少に伴う心臓自律神経機能や左室機能, 電解質バランスの改善, 交感神経系活性の抑制などがQTc間隔の短縮に関与していると考えられている。

一方, 我々²⁾やKanayaら¹⁵⁾の結果では, 介入前のQTc間隔が長い者ほどQTc間隔の変化量が大きかったことから, 運動トレーニングによるQTc間隔の改善効果には個人差が存在することが伺える。我々は運動トレーニングによるQTc間隔の改

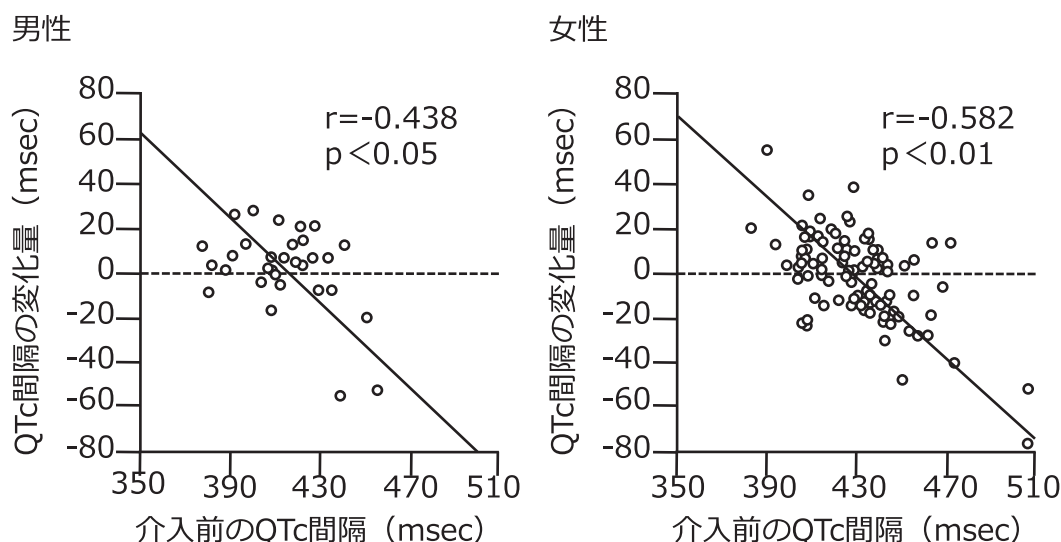


図4. 運動トレーニングによるQTc間隔の変化量と運動介入前のQTc間隔との関係 (文献²⁾より引用)。
左図は男性, 右図は女性を示す。
203名の高齢者 (男性54名, 女性149名, 平均年齢 73.0 ± 4.5 歳, 平均BMI $23.7 \pm 3.2 \text{ kg/m}^2$, 平均QTc間隔 $424.5 \pm 22.5 \text{ msec}$) を対象に検討。

善効果の個人差を明らかにすべく、アンジオテンシン I 変換酵素 (ACE) 遺伝子 I/D 多型に着目した³⁹⁾。運動トレーニングの効果には環境要因だけではなく、遺伝的要因も影響しており、身体能力に影響を及ぼす遺伝子多型として最初に報告されたのが、ACE 遺伝子 I/D 多型である。ACE は血圧調節機構であるレニン-アンジオテンシン系の中で、アンジオテンシン I をアンジオテンシン II に変換する酵素であり、この遺伝子多型による身体能力や運動トレーニングの効果の違いなど数多くの検証が行われている⁴⁰⁾。我々は³⁹⁾ 運動トレーニングによる心機能の適応能は、D allele を有する者が高いという仮説のもと、131 名の高齢女性 (平均年齢 71.9 ± 4.5 歳, 平均 BMI $24.0 \pm 3.0 \text{ kg/m}^2$, 平均 QTc 間隔 $430.8 \pm 21.0 \text{ msec}$) を対象に 12 週間のベンチステップ運動による LT 強度の運動トレーニングを施行し、ACE 遺伝子多型による QTc 間隔の改善効果の差異について検討した。その結果、興味深いことに 12 週間の介入後、QTc 間隔の変化量は I/I 型に比べて D/D 型が有意に大きく、この研究の結果から運動トレーニングによる心機能の適応が ACE 遺伝子 I/D 多型で異なる可能

性が明らかにされた (図 5)。

おわりに

今回、運動・身体活動の QT 間隔延長の抑制・改善効果について概説した。これまでの研究結果より、QT 間隔の延長は有酸素性作業能力や身体活動量、筋力やバランス能力、歩行能力などの身体能力の低下が関与していることが推察される。しかし、本論文で述べた QTc 間隔に対する体力や身体活動の影響、運動トレーニングの効果は、正常範囲内の QTc 間隔に対する効果でしかなく、これまでの結果が病的に QT 間隔が延長した集団にもあてはまるか否かは不明である。今後の研究結果から、運動トレーニングや体力、身体活動の維持・向上が病的な QT 延長症候群の改善にどれほど関与するのかを明らかにされることを期待している。

一方、日常生活での身体活動量の維持・向上は、不整脈をはじめとする心血管病発症の抑制や改善に影響を及ぼすことが近年の疫学調査で示されている²²⁾。しかし、不整脈発生予防や改善を

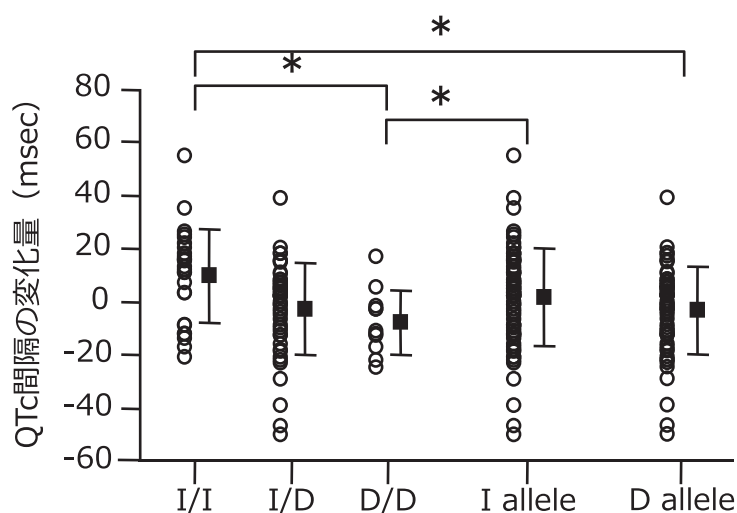


図5.アンジオテンシン I 変換酵素 (ACE) 遺伝子多型による QTc 間隔の変化量の差異 (文献³⁹⁾ より引用)。
結果は平均値 \pm 標準偏差で示す。* ; $p < 0.05$ 。
131 名の高齢女性 (平均年齢 71.9 ± 4.5 歳, 平均 BMI $24.0 \pm 3.0 \text{ kg/m}^2$, 平均 QTc 間隔 $430.8 \pm 21.0 \text{ msec}$) を対象に検討。
左より I/I 型, I/D 型, D/D 型, I allele, D allele. [ヒト ACE 遺伝子は 17 番染色体に存在し, 287 塩基対の Alu 配列が挿入 (insertion; I) または欠失 (deletion; D) することで多型が生じる]。

目的とした運動には運動強度の決定が非常に重要であり、運動実施にあたってのリスク管理と運動負荷試験に基づいた適切な運動処方を行なうことにより、運動中の突然死事故を未然に防止できるものと考えられる。上述したとおり、安静時心電図は運動処方を行う際のメディカルチェックの必須項目であり、なかでもQT間隔の延長は心臓突然死や冠動脈疾患、左室肥大、心臓自律神経障害の予測因子である。体力や身体活動量とQTc間隔との関係、運動トレーニングによるQTc間隔の変化を把握することは、運動適応や運動トレーニングの効果を判定し、安全で効果的な運動処方を行ううえで、有益な情報となりうると考えられる。定期的な運動習慣には不整脈発生のみならず冠動脈病変進展抑制効果など様々な効果が期待されており、その習慣的施行を多くの健常者および有疾患者に推し進めていきたいものである。

参考文献

1. Abo K, Ishida Y, Yoshida R, Hozumi T, Ueno H, Shiotani H, Matsunaga K, Kazumi T. Torsade de pointes in NIDDM with long QT intervals. *Diabetes Care* 19: 1010, 1996.
2. 赤木ゆう子, 森由香梨, 飛奈卓郎, 進藤宗洋, 田中宏暁, 清永明. 高齢者における補正QT間隔 (QTc) と有酸素性作業能, 並びに血中乳酸閾値相当の持久的トレーニングによる効果. *体力科学* 54: 489, 2005.
3. Bazett HC. An analysis of time relations of electrocardiogram. *Heart* 7: 353-370, 1920.
4. Carella MJ, Mantz SL, Rovner DR, Willis PW 3rd, Gossain VV, Bouknight RR, Ferencick GS. Obesity, adiposity, and lengthening of the QT interval: improvement after weight loss. *Int J Obes Relat Metab Disord* 20: 938-942, 1996.
5. Dekker JM, Schouten EG, Klootwijk P, Pool J, Kromhout D. Association between QT interval and coronary heart disease in middle-aged and elderly men. The Zutphen Study. *Circulation* 90: 779-785, 1994.
6. Dekker JM, Feskens EJ, Schouten EG, Klootwijk P, Pool J, Kromhout D. QTc duration is associated with levels of insulin and glucose intolerance. The Zutphen Study. *Diabetes* 45: 376-380, 1996.
7. el-Gamal A, Gallagher D, Nawras A, Gandhi P, Gomez J, Allison DB, Steinberg JS, Shumacher D, Blank R, Heymsfield SB. Effects of obesity on QT, RR, and QTc intervals. *Am J Cardiol* 75: 956-959, 1995.
8. Festa A, D'Agostino R Jr, Rautaharju P, Mykkanen L, Haffner SM. Relation of systemic blood pressure, left ventricular mass, insulin sensitivity, and coronary artery disease to QT interval duration in nondiabetic and type 2 diabetic subjects. *Am J Cardiol* 86: 1117-1122, 2000.
9. Franzoni F, Mataloni E, Femia R, Galetta F. Effect of oral potassium supplementation on QT dispersion in anorexia nervosa. *Acta Paediatr* 91: 653-656, 2002.
10. Fujimoto S, Uemura S, Tomoda Y, Yamamoto H, Matsukura Y, Horii M, Iwamoto E, Hashimoto T, Dohi K. Effects of exercise training on the heart rate variability and QT dispersion of patients with acute myocardial infarction. *Jpn Circ J* 63: 577-582, 1999.
11. Gale CR, Martyn CN, Cooper C, Sayer AA. Grip strength, body composition, and mortality. *Int J Epidemiol* 36: 228-235, 2007.
12. Galetta F, Franzoni F, Santoro G, Prattichizzo F, Femia FR, Pastine F, Pentimone F. QT dispersion in elderly athletes with left ventricular hypertrophy. *Int J Sports Med* 24: 233-237, 2003.
13. Jáuregui-Garrido B, Jáuregui-Lobera I. Sudden death in eating disorders. *Vasc Health Risk Manag* 8: 91-98, 2012.
14. 循環器病の診断と治療に関するガイドライン（2011年度合同研究班報告）. QT延長症候群（先天性・二次性）とBrugada症候群の診

- 療に関するガイドライン（2012年改訂版）.
http://www.j-circ.or.jp/guideline/pdf/JCS2013_aonuma_h.pdf
15. Kanaya S, Nishiyama Y, Maeda H, Tokuda K, Tanaka M, Hirano K, Koga Y. Improvement in corrected QT dispersion by physical training and percutaneous transluminal coronary angioplasty in patients with recent myocardial infarction. *Jpn Circ J* 64: 165-169, 2000.
 16. Kawasaki R, Machado C, Reinhoehl J, Fromm B, Baga JJ, Steinman RT, Lehmann MH. Increased propensity of women to develop torsades de pointes during complete heart block. *J Cardiovasc Electrophysiol* 6: 1032-1038, 1995.
 17. Lee DC, Sui X, Artero EG, Lee IM, Church TS, McAuley PA, Stanford FC, Kofl HM 3rd, Blair SN. Long-term effects of changes in cardiorespiratory fitness and body mass index on all-cause and cardiovascular disease mortality in men: the aerobics center longitudinal study. *Circulation* 124: 2483-2490, 2011.
 18. Litwin JS, Kleiman RB, Gussak I. Acquired (drug-induced) long QT syndrome. In: Gussak I, Antzelevitch C, editors. *Electrical diseases of the heart*. Springer-Verlag 705-718, 2008.
 19. Mangoni AA, Kinirons MT, Swift CG, Jackson SH. Impact of age on QT interval and QT dispersion in healthy subjects: a regression analysis. *Age Ageing* 32: 326-331, 2003.
 20. Michishita R, Shono N, Kasahara T, Tsuruta T. Association between maximal oxygen uptake and the heart rate corrected-QT interval in postmenopausal overweight women. *J Atheroscler Thromb* 16: 396-403, 2009.
 21. 道下竜馬, 庄野菜穂子, 笠原貴紀, 鶴田敏幸. 冠危険因子の集積ならびに運動耐容能の低下が閉経後肥満女性の安静時心電図QTc間隔に及ぼす影響. *日本臨床スポーツ医学会誌*, 17: 84-91, 2009.
 22. 道下竜馬, 井上晃男, 浅香真知子, 小松愛子, 下村光洋, 兒玉和久, 野出孝一. 不整脈発生予防に対する運動・日常身体活動の役割. *日本臨床生理学会雑誌* 42: 23-28, 2012.
 23. 道下竜馬, 深江知佳, 三原里佳子, 池永昌弘, 森村和浩, 武田典子, 山田陽介, 檜垣靖樹, 田中宏暁, 清永明. 高齢者の身体能力と安静時心電図補正QT間隔との関係. *体力科学* 62: 283-291, 2013.
 24. Michishita R, Fukae C, Mihara R, Ikenaga M, Morimura K, Takeda N, Yamada Y, Higaki Y, Tanaka H, Kiyonaga A; The Nakagawa Study Group. Association between the physical activity and heart rate corrected-QT interval in older adults. *Geriatr Gerontol Int* [Epub ahead of print].
 25. Michishita R, Ishikawa-Takata K, Yoshimura E, Mihara R, Ikenaga M, Morimura K, Takeda N, Yamada Y, Higaki Y, Tanaka H, Kiyonaga A; The Nakagawa Study Group. Influence of the dietary sodium and potassium intake on the heart rate corrected-QT interval in elderly subjects. *J Nutr Sci Vitaminol* (in press).
 26. Mitcheson JS, Chen J, Lin M, Culberson C, Sanguinetti MC. A structural basis for drug-induced long QT syndrome. *Proc Natl Acad Sci USA* 97: 12329-12333, 2000.
 27. 宮津修, 武者春樹: 虚血性心疾患 -身体活動中の突然死を防ぐには-. *臨床スポーツ医学* 12: 131-136, 2007.
 28. Morganroth J, Horowitz LN. Incidence of proarrhythmic effects from quinidine in the outpatient treatment of benign or potentially lethal ventricular arrhythmias. *Am J Cardiol* 56: 585-587, 1985.
 29. Mshui ME, Saikawa T, Ito K, Hara M, Sakata T. QT interval and QT dispersion before and after diet therapy in patients with simple obesity. *Proc Soc Exp Biol Med* 220: 133-138, 1999.
 30. Nishiyama Y, Maeda H, Tanaka M, Hirano K, Koga Y. Effect of physical training on corrected QT dispersion in patients with nonischemic heart

運動、身体活動が心電図 QT 間隔延長に及ぼす影響（道下・他）

- failure. *Circ J* 68: 946-949, 2004.
31. Pietrobelli A, Rothacker D, Gallagher D, Heymsfield SB. Electrocardiographic QTc interval: short-term weight loss effects. *Int J Obes Relat Metab Disord* 21: 110-114, 1997.
32. Rautaharju PM, Zhou SH, Wong S, Calhoun HP, Berenson GS, Prineas R, Davignon A. Sex difference in the evolution of the electrocardiographic QT interval with age. *Can J Cardiol* 8: 690-695, 1992.
33. Roden DM. Drug-induced prolongation of the QT interval. *N Engl J Med* 350: 1013-1022, 2004.
34. Sattelmair J, Pertman J, Ding EL, Kohl HW 3rd, Haskell W, Lee IM. Dose response between physical activity and risk of coronary heart disease: a meta-analysis. *Circulation* 124: 789-795, 2011.
35. Sawada SS, Lee IM, Naito H, Tsukamoto K, Muto T, Blair SN. Muscular and performance fitness and incidence of type 2 diabetes: prospective study of Japanese men. *J Phys Act Health* 7: 627-632, 2010.
36. Schuit AJ, Dekker JM, de Vegt F, Verheij TC, Rijnkeke RD, Schouten EG. Effect of physical training on QTc interval in elderly people. *J Electrocardiol* 31: 111-116, 1998.
37. Soyka LF, Wirtz C, Spangenberg RB. Clinical safety profile of sotalol in patients with arrhythmias. *Am J Cardiol* 65: 74A-81A, 1990.
38. Straus SM, Kors JA, De Bruin ML, van der Hooft CS, Hofman A, Heeringa J, Deckers JW, Kingma JH, Sturkenboom MC, Stricker BH, Witteman JC. Prolonged QTc interval and risk of sudden cardiac death in a population of older adults. *J Am Coll Cardiol* 47: 362-367, 2006.
39. Tobina T, Kiyonaga A, Akagi Y, Mori Y, Ishii K, Chiba H, Shindo M, Tanaka H. Angiotensin I converting enzyme gene polymorphism and exercise trainability in elderly women: an electrocardiological approach. *J Sports Sci Med* 6: 220-226, 2007.
40. 飛奈卓郎, 田中宏暁, 西田裕一郎, 清永明. アンジオテンシン I 変換酵素遺伝子挿入/欠失多型と身体能力. *体力科学* 57: 527-531, 2008.

（平成26年9月29日受付）
（平成26年12月5日受理）